



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

EFFECTOS DE BIOCARBÓN EN UN CULTIVO DE CACAO (*THEOBROMA CACAO* L.) OBTENIDO A PARTIR DE SU CÁSCARA

SISALIMA MORALES PRISCILA ELIZABETH
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

EFFECTOS DE BIOCARBÓN EN UN CULTIVO DE CACAO
(THEOBROMA CACAO L.) OBTENIDO A PARTIR DE SU
CÁSCARA

SISALIMA MORALES PRISCILA ELIZABETH
INGENIERA AGRÓNOMA

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CARRERA DE INGENIERÍA AGRÓNOMICA

TRABAJO TITULACIÓN
TRABAJO EXPERIMENTAL

EFFECTOS DE BIOCARBÓN EN UN CULTIVO DE CACAO (*THEOBROMA CACAO*
L.) OBTENIDO A PARTIR DE SU CÁSCARA

SISALIMA MORALES PRISCILA ELIZABETH
INGENIERA AGRÓNOMA

BARREZUETA UNDA SALOMON ALEJANDRO

MACHALA, 06 DE MAYO DE 2020

MACHALA
2020

INFORME DE ORIGINALIDAD

3%

INDICE DE SIMILITUD

%

FUENTES DE
INTERNET

3%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Carlos Alberto Alvarado Uriña, Fátima Lourdes Morales Intriago, Manuel Danilo Carrillo Zenteno, Alejandra Yarley Suarez Zambrano et al. "Comparación económica de un sistema de plantación de cacao semitecnificado en dos zonas de Ecuador", Journal of Science and Research: Revista Ciencia e Investigación, 2016

Publicación

<1%

2

Pérez Neira, David. "Energy sustainability of Ecuadorian cacao export and its contribution to climate change. A case study through product life cycle assessment", Journal of Cleaner Production, 2016.

Publicación

<1%

3

"Advances in Information and Communication Technologies for Adapting Agriculture to Climate Change II", Springer Science and Business Media LLC, 2019

Publicación

<1%

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

La que suscribe, SISALIMA MORALES PRISCILA ELIZABETH, en calidad de autora del siguiente trabajo escrito titulado EFECTOS DE BIOCARBÓN EN UN CULTIVO DE CACAO (THEOBROMA CACAO L.) OBTENIDO A PARTIR DE SU CÁSCARA, otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

La autora declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

La autora como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 06 de mayo de 2020



SISALIMA MORALES PRISCILA ELIZABETH
0705561041

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a mi querido esposo Danny Moreno Maldonado por su sacrificio y esfuerzo sobre todo por su apoyo incondicional durante el transcurso de mi carrera universitaria y poder culminarla, a mi hijo Dereck quien es mi motivación para seguir adelante en mis propósitos.

A mi querido padre Luis Sisalima Chávez quien a inicios de mi carrera fue quien me brindó su apoyo y siempre está pendiente de mi bienestar, a mi adorada madre Elizabeth Morales Ordoñez quien me alienta para seguir adelante en mis proyectos.

A toda mi familia que de alguna u otra forma me brindan su apoyo.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por siempre darme la fortaleza necesaria para poder cumplir con mis propósitos y permitirme culminar cada meta propuesta.

A mis padres, esposo, hijo y demás familiares que están presentes en mi vida y en cada uno de mis logros.

De manera especial agradezco a mi querida suegra Brígida Maldonado Patiño quien siempre estuvo dispuesta a cuidar de mi hijo y de esta manera permitirme culminar mi etapa universitaria.

A mi tutor de tesis Ing. Salomón Barrezueta Unda, PhD, por sus recomendaciones y enseñanzas durante el proceso de mi trabajo de investigación.

A mis amigos Jenner Barrera y Christian Medina por su apoyo y vivencias durante este proceso.

Finalmente a todos los docentes que me impartieron sus conocimientos durante mi carrera universitaria

EFFECTOS DE BIOCARBÓN EN UN CULTIVO DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) ELABORADO A PARTIR DE SU CÁSCARA

RESUMEN

Priscila Sisalima Morales

Salomón Barrezueta Unda

El cacao es uno de los principales cultivos de importancia agrícola en el Ecuador, su capacidad de producir cacao de calidad fino de aroma lo convierte en un rubro que genera varios ingresos al país y uno de los mayores productores a nivel mundial. Con el propósito de mejorar el rendimiento del cultivo se implementan prácticas tales como: el manejo abusivo del suelo y la incorporación de productos químicos lo cual ocasiona efectos negativos generando suelos pobres de baja fertilidad, por otra parte la actividad agrícola es la principal en generar los efectos de gases de invernadero y por lo tanto provocar impacto en el cambio climático. Es necesario implementar técnicas sostenibles que mejore el rendimiento de los cultivos, ayude a mitigar el cambio climático, aumente la fertilidad de los suelos, disminuyendo el uso de fertilizantes químicos que afectan la vida microbiana del suelo y dañan las características del mismo. El biocarbón es una opción que se ha estudiado desde hace muchos años en el campo agrícola con resultados positivos al aplicarlo como enmienda orgánica en los suelos, mejora sus propiedades físicas y químicas, aumenta la materia orgánica, mejora la capacidad de intercambio catiónico, reduce la acidez, su estructura porosa aumenta la capacidad de retención de agua, además por ser un secuestrador de carbono ayuda a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los efectos del biocarbón dependerán de la materia prima utilizada al inicio para su elaboración y de las condiciones de la pirólisis manejadas durante su proceso. Con lo antes mencionado el trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto del uso de biocarbón en el cultivo de cacao (*Theobroma*

cacao L.) mediante la medición de varios parámetros agronómicos de la planta y de las propiedades químicas del suelo pH, conductividad eléctrica y materia orgánica. Se realizó una investigación experimental de campo elaborada en el sector “Rio Negro” perteneciente al cantón Santa Rosa de la provincia de El Oro en donde se eligió una parcela de la finca y se determinaron tres unidades de estudio a las cuales se le asignaron tratamientos al azar con un testigo cada uno con diez repeticiones: T0 (testigo), T1 (75 gr de biocarbón), T2 (150 gr de biocarbón). Las variables estudiadas fueron: Altura de planta, número de brotes de las ramas, al final se recolectaron cinco mazorcas por tratamiento para ser evaluadas en su peso, diámetro y largo; además se realizó un análisis de suelo en laboratorio para determinar el porcentaje de materia orgánica, el pH y conductividad eléctrica. En la evaluación de diferentes parámetros agronómicos y propiedades químicas del suelo se pudo determinar el efecto positivo del uso de biocarbón. Los resultados obtenidos de la investigación reflejan que para el crecimiento de las plantas la dosis del T2 con 150 gr de biocarbón fue la mejor. El T1 con dosis de 75 gramos de biocarbón causó mayor efecto en el desarrollo de brotes y peso de almendra. La evaluación de los parámetros químicos del suelo resultaron tener efectos positivos con la aplicación del T1, reflejaron un incremento en la materia orgánica y corrección de pH. La dosis de biocarbón recomendada es 75 gramos demostrando que su aplicación causó efectos positivos en algunos parámetros agronómicos del cultivo y en las propiedades químicas del suelo.

Palabras clave: Biocarbón, efectos, enmienda orgánica.

**EFFECTS OF BIOCARBON ON A COCOA CROP (*Theobroma cacao* L.)
PROCESSED FROM ITS SHELL**

ABSTRACT

Priscila Sisalima Morales

Salomón Barrezuela Unda

Cocoa is one of the main crops of agricultural importance in Ecuador, its capacity to produce fine quality aroma cocoa makes it an item that generates several incomes to the country and one of the largest producers worldwide. With the purpose of improving the yield of the crop, practices are implemented such as: the abusive management of the soil and the incorporation of chemical products which cause negative effects generating poor soils of low fertility, on the other hand the agricultural activity is the main one in generating the effects of greenhouse gases and therefore causing impact on the climate change. It is necessary to implement sustainable techniques that improve crop yields, help mitigate climate change, increase soil fertility, and reduce the use of chemical fertilizers that affect soil microbial life and damage soil characteristics. Biocoal is an option that has been studied for many years in the agricultural field with positive results when applied as an organic amendment to soils, it improves their physical and chemical properties, increases organic matter, improves cation exchange capacity, reduces acidity, its porous structure increases water retention capacity, and because it is a carbon sequestrator it helps to reduce greenhouse gas emissions. The effects of biocoal will depend on the raw material used at the beginning for its elaboration and on the pyrolysis conditions handled during its process. With the above mentioned the research work aimed to evaluate the effect of the use of biocoal in the cultivation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) by measuring several agronomic parameters of the plant and the chemical properties of the soil pH, electrical conductivity and organic matter. An experimental field investigation was carried out in the "Rio Negro" sector belonging to the Santa Rosa canton in the province of El Oro, where a plot of land was chosen and three study

units were determined to which treatments were assigned at random with a control each with ten repetitions: T0 (control), T1 (75 g of biocoal), T2 (150 g of biocoal). The variables studied were: plant height, number of sprouts of the branches, at the end five ears per treatment were collected to be evaluated in their weight, diameter and length; in addition a soil analysis was made in the laboratory to determine the percentage of organic matter, pH and electrical conductivity. In the evaluation of different agronomic parameters and chemical properties of the soil, the positive effect of the use of biochar could be determined. The results obtained from the research show that for plant growth the T2 dose with 150 g of biocoal was the best. The T1 with a dose of 75 grams of biochar caused a greater effect on the development of sprouts and almond weight. The evaluation of the chemical parameters of the soil resulted in positive effects with the application of T1, reflecting an increase in organic matter and pH correction. The recommended dose of biocoal is 75 grams demonstrating that its application caused positive effects on some agronomic parameters of the crop and on the chemical properties of the soil.

Keywords: Biocarbon, effects, organic amendment

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	2
RESUMEN	3
INTRODUCCIÓN	12
I. REVISION DE LITERATURA	14
1.1 Origen del cacao.....	14
1.1 Clasificación taxonómica	14
1.2 Descripción botánica.....	14
1.2.1 Sistema radicular.....	14
1.2.2 Hojas	14
1.2.3 Inflorescencia.....	15
1.2.4 Flor.....	15
1.2.5 El fruto	15
1.2.6 Semilla	15
1.3 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de cacao.....	15
1.3.1 Temperatura	15
1.3.2 Altitud	16
1.3.3 Humedad relativa.....	16
1.3.4 Precipitaciones	16
1.3.5 Luminosidad	16
1.3.6 Suelo	16
1.4 Requerimientos nutricionales del cacao.....	16
1.5 Tipos de cacao en el Ecuador.....	17
1.6 Producción mundial de cacao.....	18
1.7 Importancia del cacao en Ecuador	18
1.8 Biocarbón	19
1.8.1 Origen del biocarbón	20
1.9 Beneficios del biocarbón al suelo	20
1.10 Impacto ambiental del biocarbón	20
1.11 Materia prima para elaborar biocarbón	21
1.12 Pirólisis.....	21
1.12.1 Pirolisis rápida	21
1.12.2 Pirólisis lenta.....	22

II.	MATERIALES Y METODOS	23
2.1	Zona de estudio	23
2.2	Diseño del experimento.....	23
2.3	Hipótesis.....	23
2.4	Parámetros objeto de estudio	23
2.5	Recolección y secado de las cascaras de cacao.....	24
2.6	Elaboración del horno	25
2.7	Elaboración del biocarbón.....	25
2.8	Aplicación de los tratamientos de biocarbón	26
2.9	Recolección de muestras de suelo.....	27
2.10	Análisis en laboratorio	27
2.11	Análisis estadístico.....	27
III.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
3.1	Altura de la planta de cacao	29
3.2	Brotos de las ramas de cacao.....	30
3.3	Largo y diámetro de mazorca.....	30
3.4	Peso total y peso de almendra de la mazorca.....	31
3.5	pH del suelo.....	32
IV.	CONCLUSIONES	34
V.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
	ANEXOS	41

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estimativo de la cantidad de nutrientes absorbidos por plantas de cacao en diferentes estado de desarrollo.....	17
Tabla 2. Producción de cacao, en grano en los 10 principales países del mundo en 2018	18
Tabla 3. Tratamientos de biocarbón a emplearse.....	23
Tabla 4. Anova de un factor para variable altura de planta	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Recolección y secado de las cascara de cacao: A) cascara de cacao en fresco, B) cascara de cacao secas	24
Figura 2. Horno para la producción de biocarbón	25
Figura 3. Horno de doble fondo para obtener biocarbón	26
Figura 4. Tamizado del biocarbón	26
Figura 5. Aplicación del biocarbón.....	27
Figura 6. Promedio de altura de plantas de cacao por tratamiento	29
Figura 7. Medias del número de brotes de la planta de cacao	30
Figura 8. Medias de las dimensiones de la mazorca de cacao: A) largo, B) diámetro ..	31
Figura 9. Volumen de la mazorca del cacao: A) media del peso total, B) media del peso almendra.....	31
Figura 10. pH del suelo.....	32
Figura 11. Conductividad eléctrica.....	33
Figura 12.Porcentaje de materia orgánica.....	33

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Zona de estudio	41
Anexo 2. Biocarbón triturado y tamizado.....	41
Anexo 3. Aplicación de biocarbón	42
Anexo 4. Toma de datos de altura y número de brotes.....	42
Anexo 5. Recolección de muestras	43
Anexo 6. Análisis de las propiedades químicas de las muestras	43
Anexo 7. Mazorcas recolectadas de los tratamientos	44
Anexo 8. Medición y peso de la mazorca de cacao	44
Anexo 9. Niveles de materia orgánica del suelo.....	45

INTRODUCCIÓN

El cacao (*Theobroma cacao* L.) es uno de los principales cultivos comerciales que ha ganado importancia en varios países en especial de América y África. En América el 15 % de la producción mundial se centraliza en el centro y sur del continente, siendo Ecuador uno de los mayores productores. En el Ecuador el cacao es un cultivo de importancia económica para los agricultores por su alta productividad y calidad de cacao, lo que incentiva el interés de los mercados internacionales (Sánchez-Mora et al., 2015).

Durante el siglo XX el cacao fue un elemento clave para crear el dinamismo social y económico en el Ecuador dando origen a las primeras casas exportadoras de cacao lo que generó grandes ingresos, incentivando el interés de los agricultores para cultivarlo. La popularidad que obtuvo durante ese periodo, logró la creación de las primeras instituciones financieras del país, convirtiéndolo como el primer productor mundial de cacao, denominándolo como la “Pepa de Oro” (Chávez Betancourt, Carbo Avellán, Lombeida García, & Cobos Mora, 2019).

El cacao es un producto que genera múltiples ingresos en las familias campesinas dedicadas a su comercialización, su destacada historia en la economía nacional lo convierten en un rubro importante para el país (Mata Anchundia, Rivero Herrada, & Segovia Montalvan, 2018). El país exporta en tres distintas formas, que concierne a las diversas fases de elaboración: Granos de cacao, Semi-elaborados y Producto Terminado (Alcívar Trejo, Calderón Cisneros, & Salazar López, 2015).

Por otra parte, el rendimiento del cultivo de cacao depende de las propiedades físicas y químicas del suelo. Debido a la necesidad de conseguir altas producciones en suelos pobres, se ha incrementado el uso de productos químicos para que aporten con los requerimientos nutricionales para su óptimo desarrollo; no obstante la frecuente y el inadecuado empleo de fertilizantes y pesticidas químicos tiene como consecuencia la acidificación y erosión de los suelos, la alteración de los macro y micro nutrientes, y la destrucción de la vida microbiana, alterando procesos microscópicos que ayudan a mejorar la calidad del suelo y la productividad de los cultivos (Argüello-Navarro, Madiedo Soler, & Moreno-Rozo, 2016). Existen alternativas tecnológicas para contrarrestar estos efectos y poder aprovechar los residuos vegetales, siendo biocarbón una opción viable (Escalante Rebolledo et al., 2016)

El biocarbón proviene del resultado de la descomposición de biomasa vegetal sometidos a fuego con temperaturas inferiores a los 700°C y con limitado oxígeno (pirólisis). También se promueve su uso como una alternativa para reducir el calentamiento global que se ha visto producido por el CO₂ atmosférico conjunto con otros gases, las actividades humanas, prácticas agropecuarias entre otros, afectando la calidad del suelo (Sánchez-Reinoso, Ávila-Pedraza, & Restrepo-Díaz, 2019).

El empleo de biocarbón produce cambios positivos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo causando un mejor desarrollo y mayor productividad en los cultivos, sus múltiples usos y los efectos en el suelo ha generado que sea parte de una práctica de mayor interés en diversas partes del mundo (Escalante Rebolledo et al., 2016). Por consiguiente, esto podría traducirse en mejores rendimientos de los cultivos y mitigación de efectos adversos sobre el ambiente.

Por otro lado, las propiedades y beneficios del biocarbón no siempre serán las mismas, dependerá del tipo de materia prima utilizada y las condiciones de la pirólisis, viéndose sus efectos en los cultivos influenciados por la cantidad a aplicar (Concilco, Moreno Reséndez, García Carrillo, Quiroga Garza, & García, 2018).

Con lo expuesto, la presente investigación se ha planteado como objetivo general: Evaluar el efecto del uso de biocarbón en el cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante la medición de varios parámetros agronómicos de la planta y de las propiedades químicas del suelo pH, conductividad eléctrica y materia orgánica.

Para efectuar el objetivo general se estableció los siguientes objetivos específicos:

- Demostrar el efecto de diferentes dosis de biocarbón en algunos parámetros de desarrollo del cultivo de cacao durante tres meses de evaluación.
- Determinar la incidencia del biocarbón sobre las propiedades químicas del suelo.

I. REVISION DE LITERATURA

1.1 Origen del cacao

Es un árbol tropical oriundo de los bosques húmedos de Sur América, posiblemente su centro de origen se encuentre ubicado en los bosques tropicales de la Región Amazónica de Perú, Colombia y Ecuador, dado que existe diversa variabilidad genética en estos lugares (Romero, Bonilla, Santos, & Peralta, 2010). Fue domesticado por los mayas siendo los primeros en cultivarlo en Centroamérica, su almendra la utilizaban para fabricar bebidas de chocolate y su consumo era caracterizado como riqueza y poder (Rangel-Fajardo et al., 2012).

1.1 Clasificación taxonómica

El cacao es una planta perteneciente al género *Theobroma*, de la familia de las Malvaceae, que comprende 22 especies (Arvelo Sánchez, González León, Maroto Arce, Delgado López, & Montoya Rodríguez, 2017). Según Cordona Velásquez, Rodríguez-Sandoval, & Cadena Chamorro, (2016) el cacao se encuentra dividido en 2 grandes grupos: forastero y criollo, y un híbrido llamado trinitario que es el resultado del cruce de los dos, la formación de cultivares se originan en tres tipos de variedades comerciales: tradicional, híbrido y clónico.

1.2 Descripción botánica

El cacao es un árbol con una altura normalmente de 5 a 8 metros, sin embargo, puede llegar a crecer hasta 20 metros de altura. El tronco es recto y oscuro. Su copa es elíptica con diferentes diámetros, dependiendo de su altura y labores culturales del árbol (Salvador, Espinoza, & César Rojas, 2012).

1.2.1 Sistema radicular

El sistema radicular del cacao está compuesto por una raíz principal pivotante y raíces secundarias, que se encuentran en los primeros 30 cm del suelo, el espacio de crecimiento debe ser suficiente sin limitaciones, de tal forma que no pueda afectar su normal desarrollo (Gutiérrez R., Gómez S., & Rodríguez L., 2011).

1.2.2 Hojas

La hoja de cacao presenta varias pigmentaciones, en base a su etapa de desarrollo que se encuentre (formación, crecimiento, y estado adulto) (Batista, 2009). Son simples, enteras y angostamente ovadas a obovado-elípticas con un tamaño de aproximadamente

17 a 48 cm de largo y 7 a 10 cm de ancho (Arvelo Sánchez et al., 2017).

1.2.3 Inflorescencia

Botánicamente, la inflorescencia del cacao es una cima decasiforme, que crece en las ramas adultas y en la madera más antigua del tronco. Durante su formación y desarrollo se convierte en una masa densa que a medida que crece se forma un racimo que agrupa entre 40 a 60 flores (Batista, 2009).

1.2.4 Flor

La flor del cacao es pequeña, su cáliz es color rosa, la corola es de color blancuzco, amarillo o rosa y pétalos largos (ANACAFÉ, 2004). La polinización es entomófila, donde inicia su proceso de apertura con el agrietamiento del botón floral en horas de la tarde y se encuentra totalmente abierta al siguiente día por la mañana, por lo tanto sus anteras se encuentran llenas de polen y viables durante 48 horas (Batista, 2009).

1.2.5 El fruto

Su fruto es una mazorca, compuesta por una cáscara gruesa que cubre a las semillas de cacao. Su tamaño, forma y color varían de acuerdo al cultivar. Presentando un tamaño, que oscila de 10- 30 cm de largo y de 7-9 cm de ancho (Graziani de Fariñas, Ortiz de Bertorelli, Angulo, & Parra, 2002). Las mazorcas de cacao por sus formas se clasifican en Amelonado, Calabacillo, Angoleta y Cundeamor dependiendo de su variedad (Batista, 2009).

1.2.6 Semilla

Sus semillas son similares a las almendras, de color púrpura o blancuzco y con un sabor amargo. La cáscara (testa) que cubre la semilla contiene 10- 14% de su peso en seco y el 86-90% restante lo compone su cotiledón, el mismo que confiere sabores y aromas propios del chocolate (Morales J, García J, & Méndez B, 2012).

1.3 Condiciones edafoclimáticas para el cultivo de cacao

1.3.1 Temperatura

AGROCALIDAD (2012) señala que para obtener una producción económica, el cacao requiere de una temperatura media mensual entre 24° C - 26° C, siendo el mínimo de 21°C. Su desarrollo y formación de flores dependerán de la temperatura media mensual, no inferiores a 22 ° C, si no en consecuencia caerán drásticamente.

1.3.2 Altitud

El cacao se cultiva en alturas de 0 a 800 msnm. No obstante, en latitudes cercanas al Ecuador existen plantaciones que crecen en altitudes entre 1.000 a 1.400 msnm (Paredes Arce, 2003).

1.3.3 Humedad relativa

El cacao es un cultivo que se desarrolla bajo sombra, por lo cual requiere de temperaturas húmedas, con una humedad relativa del 80% (Medina, Vargas Ortiz, & Coronel, 2010).

1.3.4 Precipitaciones

El cacao es una especie que se desarrolló en zonas con climas cálidos y húmedos, por lo tanto requiere de precipitaciones entre 1250 - 3000mm anuales. Para alcanzar un mejor rendimiento comercial necesita de precipitaciones entre 1500 - 2000mm. La temporada seca no debe exceder a los 3 meses continuos con menos de 100mm de precipitaciones. En lugares que se extienden hasta 7 meses de época seca, se necesita implementar sistemas de riego para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo (AGROCALIDAD, 2012).

1.3.5 Luminosidad

La luminosidad depende de la etapa en desarrollo que se encuentre la plantación, siendo del 40 -50% para el cultivo en formación y el 60- 75% para el cultivo adulto (López Andrade, Ramírez Guillermo, & Mendoza López, 2011).

1.3.6 Suelo

El suelo es un elemento importante para obtener un cultivo de alta productividad, debe poseer características idóneas tales como: suelos profundos para lograr el crecimiento apropiado de las raíces, texturas medianas con un equilibrio de partículas de arcilla, limo y arena que permita mantener una buena aireación y retención de agua, buen contenido de materia orgánica (Pinzón Useche & Rojas Ardila, 2012). Además debe tener buen drenaje con un pH entre 4,5 a 6,5 (Cerrón Gamarra, 2012).

1.4 Requerimientos nutricionales del cacao

El cacao durante su periodo de establecimiento, inmoviliza cantidades de nutrientes, que son considerados para su desarrollo; en la etapa productiva esta condición varía, ya que algunos elementos son utilizados para la formación de frutos (Leiva Rojas, 2012).

Los métodos para evaluar el estado nutricional del cacao y grado de fertilidad del suelo, es el análisis foliar y análisis de suelo, que mediante una adecuada interpretación de sus resultados se podrá diagnosticar sus problemas nutricionales, y así establecer una óptima fertilización que garantice un mejor desarrollo y rendimiento del cultivo (Borrero, 2009; Puentes-Páramo, Menjivar-Flores, & Aranzazu-Hernández, 2016).

Se deben realizar fertilizaciones con productos compuestos por nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) aplicándolos al suelo (Borrero, 2009); los demás elementos requeridos en menores proporciones se pueden aplicar foliares.

En las diferentes etapas de desarrollo del cultivo hasta su producción es importante proporcionar los elementos nutricionales adecuados. En la tabla 1 se muestra el estimativo de los nutrientes absorbidos en distintas etapas de desarrollo del cacao (Leiva Rojas, 2012).

Tabla 1. Estimativo de la cantidad de nutrientes absorbidos por plantas de cacao en diferentes estado de desarrollo

Estado de la planta	Edad de la planta (meses)	Requerimiento nutricional medio en kg-ha ⁻¹				
		N	P	K	Ca	Mg
Vivero	02-jun	2.4	0.6	2.4	2.3	1.1
Crecimiento	28	136	14	151	113	47
Producción	50	438	48	633	373	129

Fuente. Leiva Rojas (2012)

1.5 Tipos de cacao en el Ecuador

En Ecuador se producen 2 tipos de cacao:

- Cacao tipo Nacional, comúnmente conocido por su fino aroma denominado como Cacao Arriba cuyo color típico es el amarillo, su incomparable aroma y sabor son elementales para la elaboración del delicioso chocolate gourmet reconocido a nivel mundial (PROECUADOR, 2017).
- Cacao CCN51, cuyo nombre significa Colección Castro Naranjal, el color representativo de su fruta es el rojo. Su principal característica es su potencial de alto rendimiento, para fabricar productos semielaborados, ingredientes esenciales

para la producción a escala de chocolates y otros (PROECUADOR, 2017).

1.6 Producción mundial de cacao

El Cacao es una de las frutas más demandadas a nivel mundial, aunque su origen es de América, la mayor producción se concentra en los países africanos (Zabala A., 2019). En donde Costa de Marfil ocupa el primer lugar de producción de cacao en el mundo. En el 2017/2018 obtuvo una participación de 43,1% de producción mundial. Los 10 principales productores de cacao en el mundo concentran el 94% de la producción mundial (MINAGRI, 2019). En la tabla 2 se visualiza las unidades de producción de los 10 principales países cacaoteros del año 2018.

Tabla 2. Producción de cacao, en grano en los 10 principales países del mundo en 2018

Países	Producción (t)
Costa de Marfil	1.963.949
Ghana	947.632
Indonesia	593.832
Nigeria	332.927
Camerún	307.867
Brasil	239.387
Ecuador	235.182
Perú	134.676
República Dominicana	85.139
Colombia	52.743

Fuente. FAO (2020)

1.7 Importancia del cacao en Ecuador

El cacao es un cultivar que ha permitido generar ingresos y empleo a varias personas que se dedican a labores campesinas, principalmente en las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y El Oro, que ha permitido crear múltiples beneficios debido a su gran producción, y además de ayudar a desarrollar la economía ecuatoriana (Vera Chang et al., 2014). El aroma de sus almendras es la mayor atracción en los mercados internacionales por lo que su calidad es denominado “fino de aroma” convirtiéndolo en un cultivo económicamente importante para el país (Sánchez-Mora et al., 2015).

El Ecuador posee una gran participación mundial en este producto: Más del 70% de la producción de cacao fino de aroma se encuentra en nuestro país, convirtiéndonos en el mayor productor de cacao en el mundo. Sus características únicas y distintivas que posee este tipo de cacao ha generado que sea un producto destacado e importante en el país (PROECUADOR, 2013). En el año 2015 la cantidad exportada de cacao en grano fue de 236.000 toneladas métricas, logrando un aumento del 14 % en relación al año 2014 que obtuvo 205.500 toneladas métricas (Alvarado Uriña, Morales Intriago, Carrillo Zenteno, Suarez Zambrano, & Briones Caicedo, 2016).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), las actividades cacaoteras participan con el 5% de la población económicamente activa nacional (PEA) y el 15% de la PEA rural, constituyendo un aporte importante para la economía familiar costera del país, las estribaciones de las montañas de los Andes y la Amazonía ecuatoriana (ANECACAO, 2019).

1.8 Biocarbón

El biocarbón es un producto que se origina a partir de la pirólisis o descomposición de residuos orgánicos (madera, estiércoles, restos vegetales, etc.) con temperaturas menores a 700°C y poco oxígeno. Las características de la pirólisis estarán en función del tipo de material orgánico y de la tecnología a utilizarse (Tortosa, 2015).

Las características que posee el biochar son en dependencia del material inicial utilizado, como tal existirán biocarbones con mejores propiedades que otros. Sin embargo existen propiedades agroquímicas similares como: contenido bajo en nitrógeno, altas cantidades de carbono orgánico que le proporciona su estructura porosa, pH alcalino y su aromaticidad es muy alta debido a la relación existente entre H:C. Por tales características el biocarbón se ha convertido en un producto de gran interés en el campo agrícola (Tortosa, 2015).

La aplicación de biocarbón al suelo puede aumentar su fertilidad y acelerar la capacidad de crecimiento de los cultivos ya que al parecer el carbón previene la lixiviación de nutrientes y aumenta la retención de agua (Amonette, Woolf, Street-Perrott, Lehmann, & Joseph, 2013). Además, debido a su contenido aromático el biochar es química y biológicamente más estable que el material orgánico de donde se originó (Alonso-Gómez, Cruz-domínguez, Jiménez-Madrid, Ocampo-Duran, & Parra-González, 2016).

1.8.1 Origen del biocarbón

El biocarbón tiene su origen en el descubrimiento, por el científico holandés Wim Sombroek en el año de 1950, donde encontró bolsas de suelo fértil en la selva amazónica al cual lo denominó como Terra Petra cuyo significado es “tierra negra”, esta tierra es rica en minerales como potasio, fósforo, calcio, zinc y manganeso, pero sobre todo por su contenido de carbón vegetal, quien le proporciona su característico color oscuro. El origen exacto del carbón vegetal se desconoce, pero al parecer se habría originado de la quema de árboles y fuentes de biomasa relacionadas (Rodríguez, Salazar, & Preston, 2010).

Wight (2015) menciona que Terra Petra además de ser un suelo rico en carbono contenía la mezcla de carbón vegetal, segmentos de cerámica, residuos vegetales, excreciones y restos de animales y peces.

1.9 Beneficios del biocarbón al suelo

La implementación de biocarbón como nueva técnica ha obtenido una importancia significativa en el campo agrícola, en donde actualmente se lo incorpora al suelo con el objetivo de mejorar sus propiedades físicas y químicas. El uso de biocarbón aumenta el porcentaje de materia orgánica, corrige pH ácidos, mejora la capacidad de intercambio catiónico de tal forma que permita un mayor rendimiento en los cultivos. Debido a su estructura porosa, en sitios con baja pluviosidad permite estabilizar el nivel de humedad en el suelo. Además, conocido por su efectividad para disminuir la absorción de metales pesados en suelos contaminados (Herdia Salgado & Tarelho, 2018).

Según lo expuesto anteriormente se puede mejorar la efectividad del biochar al aplicarlo como enmienda al suelo con la adición de nutrientes provenientes de fertilizantes inorgánicos u orgánicos requeridos para una alta productividad (Wight, 2015).

1.10 Impacto ambiental del biocarbón

Los gases de efecto invernadero principalmente el dióxido de carbono es uno de los gases que más contribuye al calentamiento global, su aumento es de 1 ppm por año, por ello se ha efectuado nuevas tecnologías que ayuden a capturar carbono y en efecto disminuyan las cantidades emitidas a la atmósfera (Ospina Montealegre, Ardila Fernandez, Martínez Bolaños, & Rengifo Canizales, 2013).

Biocarbón se ha implementado como un producto factible para secuestrar CO₂ por muchos años. “Johannes Lehmann, de la Universidad de Cornell, estima que sería

posible fijar con el biocarbón 9.500 millones de toneladas de CO₂ al año” (Fernández Muerza, 2009). Su potencial proviene principalmente de su recalcitrancia, lo que permite reducir la rapidez con la que se emite fotosintéticamente carbono fijado (C) a la atmósfera. Además al aplicarlo al suelo disminuyen las emisiones de otros conocidos gases de efecto invernadero como lo es el metano y óxido nitroso (Amonette et al., 2013).

1.11 Materia prima para elaborar biocarbón

El uso de la biomasa juega un papel importante en la protección del medio ambiente; siendo un material de frecuente uso, que ha generado un gran interés. Los productos elaborados a partir del material reciclado pueden ofrecer resultados positivos, en donde la producción de biocarbón puede llegar a mitigar las perjudiciales emisiones de carbono (Mathias Schlegel, Ibrahim, Kipping-Rössel, Ortiz-Laurel, & Frías, 2018).

Existen varios materiales para la elaboración de biocarbón, sin embargo no todos son adecuados para su producción. Es importante considerar que el tipo de residuo a utilizar no debe competir con otros usos, sobre todo en la elaboración de productos que contienen un precio superior al biocarbón, entre las materias prima más comunes se tiene a los desperdicios orgánicos, residuos de cosecha, planta secas y biomasa de árboles. Las propiedades y beneficios del biocarbón dependen de las características orgánicas de la biomasa utilizada al inicio conjunto con los procesos que ocurren durante la pirolisis (Escalante Rebolledo et al., 2016).

1.12 Pirólisis

La pirólisis es un proceso termoquímico que ocurre en limitado oxígeno el cual consiste en tres etapas: la dosificación y alimentación de la materia prima, la transformación del material orgánica y la obtención y separación de los productos. Existen diferentes tipos de pirolisis, cada una presenta características y condiciones distintas de acuerdo con su propósito (Klug, 2012). La temperatura para el proceso de pirolisis se ubica en un rango entre 300 °C y 600 °C (Romero Millán, Cruz Domínguez, & Sierra Vargas, 2016).

1.12.1 Pirolisis rápida

La pirolisis rápida es recomendada para la elaboración de líquidos, debido a sus condiciones durante su proceso con elevadas tasas de calentamiento y transferencia de calor, temperatura controlada alrededor de 500°C en tiempos cortos inferiores a 2 s, además de la producción de líquidos que caracteriza a la pirolisis rápida también se

producen gases y residuos sólidos (Arteaga V., Arenas C., López R., Sánchez L., & Zapata B., 2012).

1.12.2 Pirólisis lenta

Las características que presenta la pirolisis lenta son: bajas temperaturas, entre 300 °C y 500 °C con tasas de calentamiento inferiores a 100 °C/min, lo que permite potenciar una mayor producción de carbonizado o como precursor de productos de alto valor, como carbón activado o biochar (Romero Millán et al., 2016).

II. MATERIALES Y METODOS

2.1 Zona de estudio

El estudio se realizó en una finca cacaotera en el sector Río Negro ubicada en el cantón Santa Rosa, provincia de El Oro cultivada con el clon de cacao CCN51, presenta las siguientes coordenadas 3°24'57.166" S y 79°49'59.163" W a 45 msnm.

2.2 Diseño del experimento

Se escogió parcela de la finca, con un diseño completamente al azar, donde se establecieron tres unidades de estudio y se asignó los tratamientos cada uno con diez repeticiones. Los tratamientos a efectuarse consisten en aplicar diferentes dosis de biocarbón (75 g y 150 g), con un testigo que no será dosificado como se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3. Tratamientos de biocarbón a emplearse

Tratamiento	Dosis (g)
Tratamiento control (T0)	0
Tratamiento 1 (T1)	75
Tratamiento 2 (T2)	150

2.3 Hipótesis

Se plantearon las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H₀): El uso de biocarbón causa efectos en el desarrollo de la planta de cacao y en las propiedades químicas del suelo.

Hipótesis alternativa (H_a): El uso de biocarbón no causa efectos en el desarrollo de la planta de cacao y en las propiedades químicas del suelo

2.4 Parámetros objeto de estudio

Los parámetros que se midieron fueron: altura de planta, número de brotes, el peso, largo y diámetro de mazorca por tratamiento.

Medición de la altura de planta

La medición de la altura se la realizó a las diez plantas de cada unidad de estudio, para ello se utilizó una cinta métrica adherida a una vara en donde se midió desde la base del suelo hasta la copa del árbol, la toma de datos se la realizaba cada mes.

Número de brotes

Para contabilizar el número de brotes se eligieron dos ramas al azar por planta señalándolas con cintas y numeradas para los próximos conteos, esta variable se la realizó a todas las plantas de las unidades de estudio, el conteo se lo efectuaba cada mes.

Peso, largo y diámetro de la mazorca

Se recolectaron 5 mazorcas de cacao por cada tratamiento para luego realizar varias mediciones, para lo cual se utilizó una cinta métrica y una balanza digital, posteriormente se registraron los siguientes datos:

- Peso de mazorca (kg)
- Peso de almendra (kg)
- Largo de mazorca (cm)
- Diámetro de mazorca (cm)

2.5 Recolección y secado de las cascaras de cacao

Las cascaras fueron recolectadas del mismo lugar de la zona de estudio en el cual se recolectaron 172 lb de biomasa en estado fresco. Luego se realizó el secado al ambiente, esparciéndolas sobre un plástico por varios días (Figura 2A). Obteniendo 22,2 lb de biomasa seca (Figura 2B)

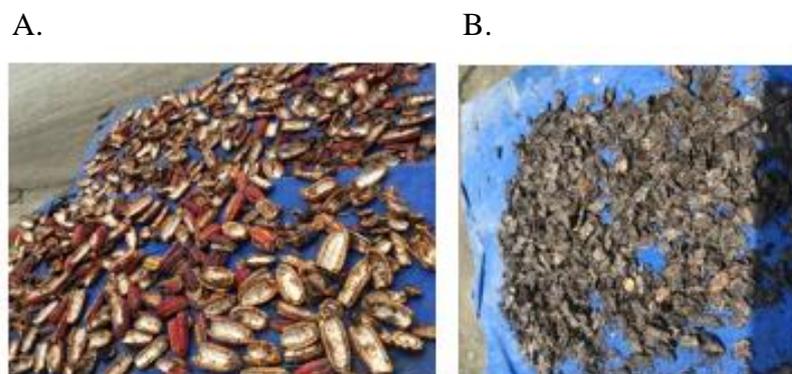


Figura 1. Recolección y secado de las cascaras de cacao: A) cascara de cacao en fresco, B) cascara de cacao secas

2.6 Elaboración del horno

Para la fabricación del horno se utilizó la metodología de Marín Armijos, García Batista, & Barrezueta-Unda, (2018) en el cual consistió en elaborar dos tanques cilíndricos de metal, el primero con medidas de 70 cm de largo por 40 cm de diámetro, con su respectiva tapa (Figura 2A) donde se colocara la materia prima. El segundo tanque de 120 cm de alto por 50 cm de diámetro (Figura 2B), el cual servirá para introducir el tanque más pequeño y tendrá aberturas en su parte interior para colocar la madera y generar fuego.

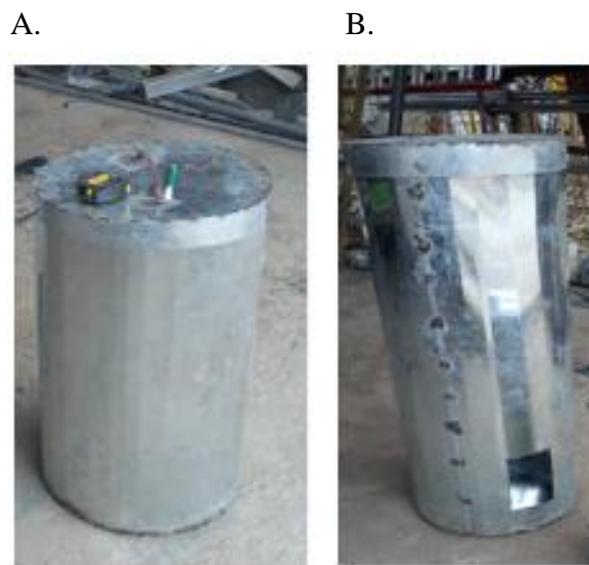


Figura 2. Horno para la producción de biocarbón

2.7 Elaboración del biocarbón

Esta actividad fue realizada en la Parroquia Buenavista del cantón Pasaje en un área despejada para realizar el proceso de pirólisis, el cual consistió en colocar las cascaras de cacao secas en el tanque pequeño y luego ser tapado y asegurado. Posteriormente se inserta el tanque pequeño al más grande y se coloca leña en las aberturas inferiores para producir fuego de tal forma que debe ser alimentado constantemente hasta finalizar el proceso. El tiempo de quema fue aproximadamente de 1 hora y 30 minutos tomando en cuenta las condiciones ambientales del sitio (Figura 3).



Figura 3. Horno de doble fondo para obtener biocarbón

El material obtenido de la pirólisis fue triturado y tamizado de forma manual (Figura 4), luego se mezcló con humus de lombriz en cantidades homogéneas dejando reposar por 21 días en el cual se aplicó agua cada tres días manteniendo un material húmedo para su posterior uso en el suelo. Las dosis fueron pesadas en dos vasos plásticos los cuales fueron marcados con las diferentes cantidades para cada tratamiento.



Figura 4. Tamizado del biocarbón

2.8 Aplicación de los tratamientos de biocarbón

Las aplicaciones se las realizaron durante dos meses, una aplicación por mes empezando desde el 30 de octubre hasta el 30 de noviembre del 2019, el cultivo tiene 3 años de establecimiento. El biocarbón fue aplicado en la superficie del suelo alrededor de la planta a una distancia de 10 cm.



Figura 5. Aplicación del biocarbón

2.9 Recolección de muestras de suelo

Se realizó un previo análisis de la zona de estudio, para ello se tomaron 5 submuestras de suelo al azar empleando el patrón de muestreo en zig-zag a profundidades de 0 a 0,15 m y de 0,15-0,30 m con la ayuda de una barreta obteniendo dos muestras de suelo cada una de 1 kg que fueron separadas en fundas plásticas, las cuales fueron secadas al ambiente para luego ser trituradas y tamizadas a 2 mm y procesarlas en laboratorio para determinar la textura, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica.

Al final se recolectó una muestra de suelo de cada tratamiento a profundidades de 0 a 0,15 y 0,15 a 0,30 m para posteriormente ser analizados en laboratorio.

2.10 Análisis en laboratorio

Las muestras de suelo fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Técnica de Machala.

Para el análisis del pH y conductividad eléctrica se utilizó el método del potenciómetro (USDA-NRCS, 2014). La determinación de la textura se la realizó mediante el “Método de Bouyoucos” (Ariza, 2016). El porcentaje de materia orgánica se determinó aplicando el método de Walkley-Back (INTA, 2011).

2.11 Análisis estadístico

Para realizar el proceso estadístico se utilizó el programa SPSS versión 22, donde se realizó una comparación de medias de las diferentes variables evaluadas (altura de planta, número de brotes, largo, diámetro y peso de mazorca) mediante un Análisis estadístico ANOVA de un factor (dosis de biocarbón) y una prueba de Duncan para

cada variable. Los valores tomados en campo se ingresaron en una hoja de Excel, además se realizaron gráficos en Excel sobre los parámetros del suelo (pH, conductividad eléctrica y % materia orgánica) y hacer una comparación entre tratamientos.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Altura de la planta de cacao

Para determinar si hubo diferencias estadísticamente significativas en la altura de la planta del cacao en los tratamientos se realizó un ANOVA de un factor cuyos resultados indican que existe significancia (Tabla 4).

Tabla 4. Anova de un factor para variable altura de planta

ANOVA					
Altura de plantas de cacao (m)					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	,511	2	,256	3,121	,048
Dentro de grupos	9,583	117	,082		
Total	10,094	119			

La figura 6, muestra los promedios de altura por tratamientos y la prueba de Duncan que indicó diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), alcanzó la mayor altura T2 (2,56 m) y menor valor correspondió al T1 (2,40 m). La aplicación de biocarbón tuvo un mayor efecto en la altura de las plantas con la dosificación del T2 explicándose la influencia del biocarbón que provoca cambios positivos en el suelo que favorecen sus propiedades y el crecimiento de los cultivos (Escalante Rebolledo et al., 2016).

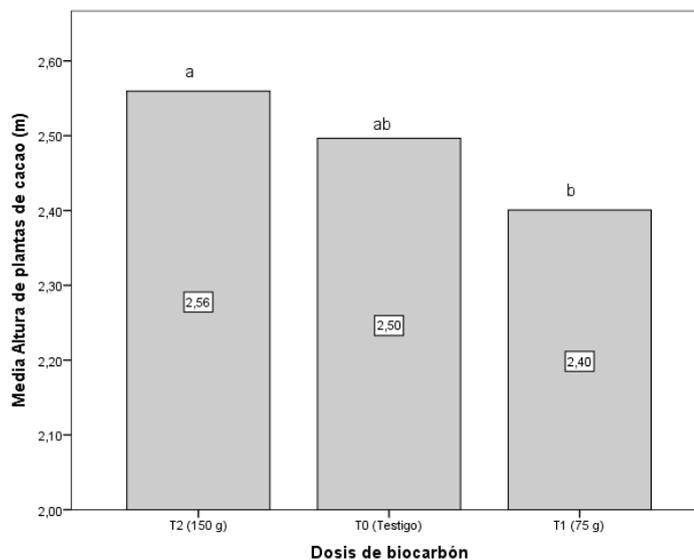


Figura 6. Promedio de altura de plantas de cacao por tratamiento

3.2 Brotes de las ramas de cacao

En la figura 7, se observa las medias de los brotes en los diferentes tratamientos que fueron sometidas por la prueba de Duncan ($p < 0,05$). Los valores indican diferencias significativas entre T1 que presentan el mayor número de brotes (16) y los tratamientos T2 y T0 que tienen el menor número de brotes con una media de 12 y 11, respectivamente. La aplicación de biocarbón influye en la actividad microbiana del suelo por lo que genera impactos positivos en el desarrollo vegetativo y producción de biomasa, esto genera mayor materia orgánica que ayuda a la disponibilidad de nutrientes en el suelo (Concilco et al., 2018).

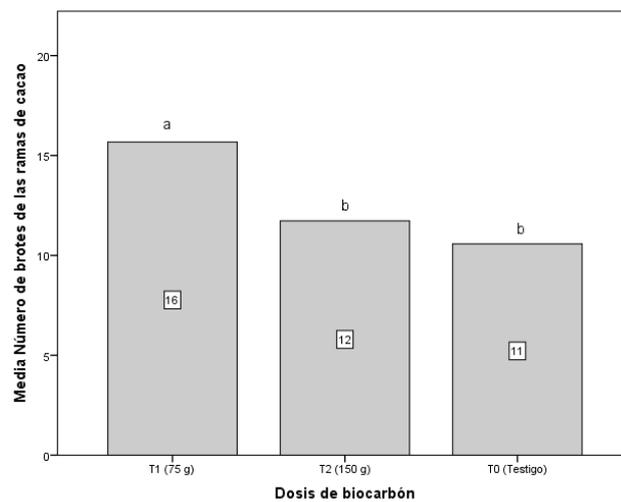


Figura 7. Medias del número de brotes de la planta de cacao

3.3 Largo y diámetro de mazorca

Los promedios de largo de mazorca fluctuaron entre 27,6 a 29,4 cm (Figura 8A), sin mostrar significancia estadística en la prueba de Duncan ($p < 0,05$). En la figura 8B, los promedios de diámetro de mazorca variaron de 33,2 a 34,2 cm, indicando homogeneidad entre las mazorcas de los diferentes tratamientos.

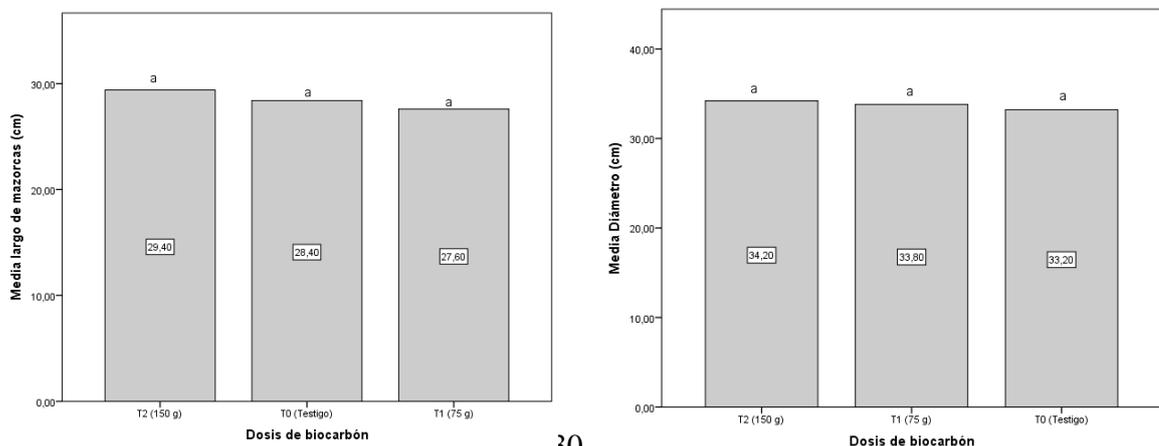


Figura 8. Medias de las dimensiones de la mazorca de cacao: A) largo, B) diámetro

3.4 Peso total y peso de almendra de la mazorca

El peso total de las mazorcas de los diferentes tratamientos tiene vario de 1,11 kg (T0) a 1,20 kg (T1) y no presentan significancia estadística entre los tratamientos (Figura 9A). La variable peso de almendra (Figura 9B), evidencia que el mayor peso lo tiene el T1 con 0,44 kg, y T2 0,30 kg y T0 0,39 kg, valores que indican significancia estadística.

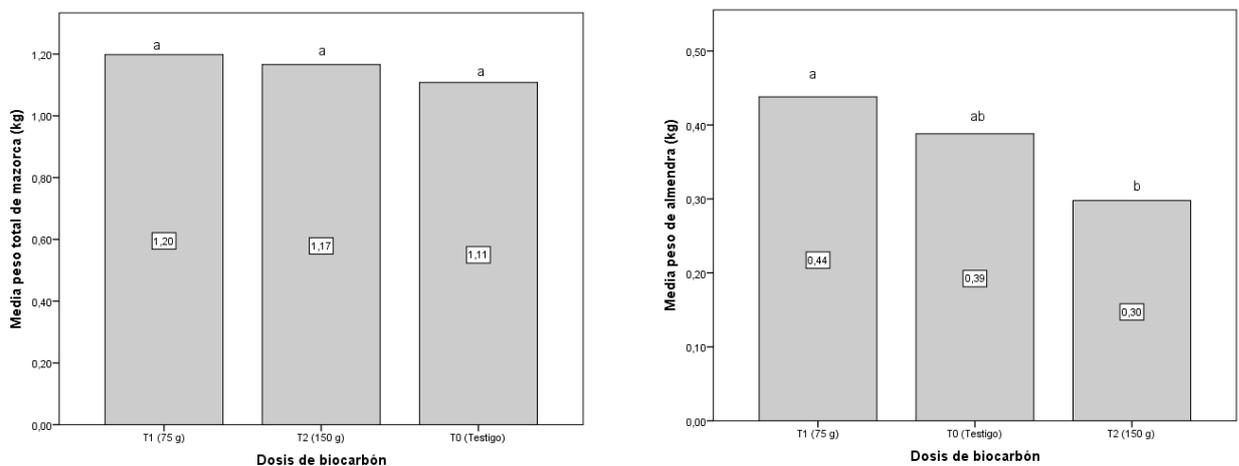


Figura 9. Volumen de la mazorca del cacao: A) media del peso total, B) media del peso almendra

El peso total de mazorca no se evidenció efectos significativos de la aplicación de biocarbón entre tratamientos, en cuanto a peso de almendra existió una variación de medias donde el T1 tiene el mayor peso, por lo que se traduce que la aplicación de biocarbón en dosis de 75 g favorece al llenado de la mazorca. Concilco et al., (2018) menciona que los efectos de biocarbón sobre la calidad de los cultivos no han sido muy estudiados, aunque su empleo se ha incrementado es necesario obtener más estudios sobre sus efectos, sus propiedades no serán siempre las mismas, estarán en función de las características de la materia prima y condiciones de la pirólisis, la incidencia del biocarbón sobre los cultivos dependerán de las cantidades aplicadas, el tipo de suelo y la variedad vegetal cultivada así como pueden encontrarse efectos positivos, también podrían encontrarse efectos nulos o desfavorables.

3.5 pH del suelo

La figura 12 muestra que hubo un aumento en el pH del T1 y T2 en sus horizontes en comparación con el T0 (Testigo) que el pH más bajo con valores de 6,62 en el primer horizonte y 6,36 en el segundo horizonte. Entre los tratamientos a los cuales se aplicaron dosis de biocarbón el T1 muestra el pH más alto en sus dos horizontes con 6,97 y 6,51 respectivamente, seguido por el T2 que presenta en el primer horizonte un pH de 6,73 y el segundo horizonte con un valor de con 6,38 estos resultados demuestran el efecto del biocarbón en la modificación de pH del suelo, consiguiendo mejores resultados de dosis de 75 g del T1. El biocarbón se propone como mejorador de las propiedades físicas del suelo, también como material de encalado ya que el biocarbón posee un pH alcalino (Escalante Rebolledo et al., 2016).

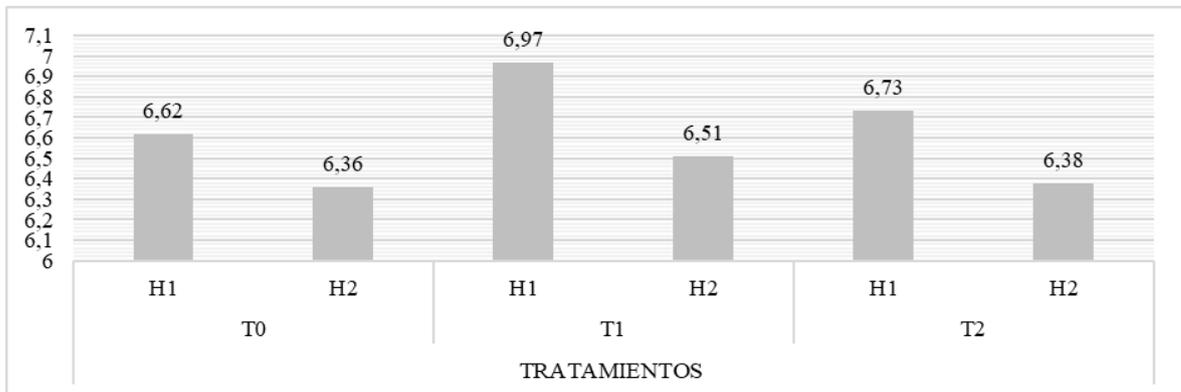


Figura 10. pH del suelo

Conductividad eléctrica

La figura 13 muestra los niveles de C.E del horizonte 1 (H1) y horizonte 2 (H2) de los diferentes tratamientos, el T0 indica que la C.E. con 0,22 dS/m tiene el mayor valor en el primer horizonte, mientras que el T1 y T2 muestran una disminución con valores de 0,17 dS/m y 0,16 dS/m respectivamente, referente al segundo horizonte el T0 tiene el menor valor con 0,12 dS/m, el T1 y T2 muestran un aumento en la C.E. con 0,18 dS/m. Los valores indican que se encuentran en un rango óptimo < 1 dS/m (Barrezueta-Unda, 2019).

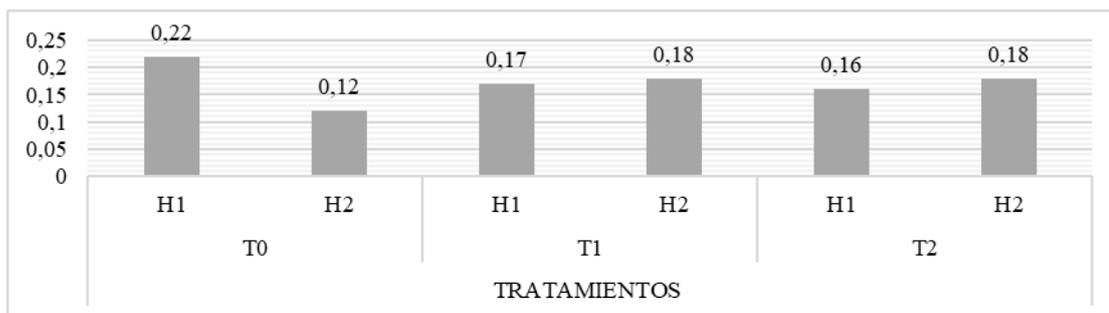


Figura 11. Conductividad eléctrica

Materia orgánica

En la figura 14, el T1 presenta el mayor porcentaje de M.O con valores de 3,45 % en el H1 y 3,24 % en el H2, seguido por el T2 con 3,10 % en el H1 y 2,27 % en el H2. El T0 al cual no se aplicó dosis de biochar, indicó el nivel más bajo de M.O en sus horizontes con valores de 2,83 % y 1,31 % respectivamente. Con los resultados expuestos manifiestan que el uso de biocarbón en el suelo causa efectos positivos en el incremento de materia orgánica con dosis de 75 g ubicándose en un nivel medio (Anexo 9). Escalante Rebolledo et al., (2016) manifiesta que la adición de biocarbón puede ser una posibilidad para contribuir a paliar la pérdida de fertilidad y la declinación de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo y particularmente la disminución de la materia orgánica, el incremento de la erosión y la degradación física.

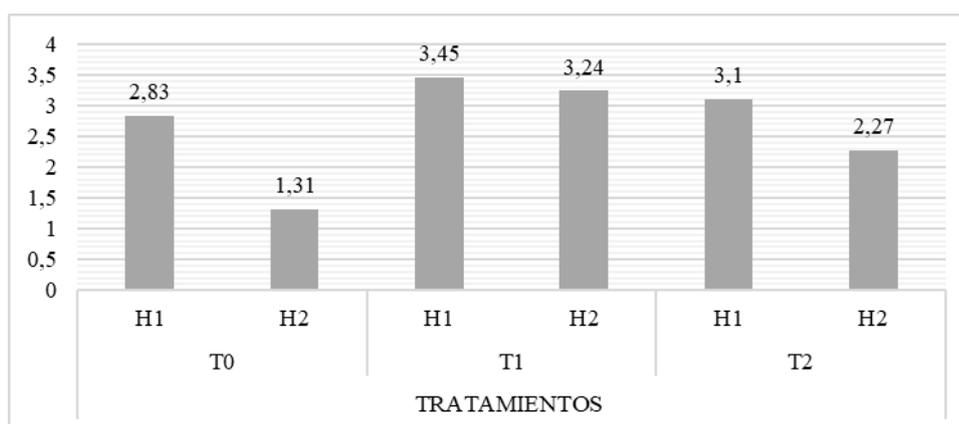


Figura 12. Porcentaje de materia orgánica

IV. CONCLUSIONES

El uso de biocarbón causa efectos favorables en el desarrollo de brotes de las plantas con dosis del T1 de 75 g, sin embargo en la altura se evidenciaron mayor influencia del biocarbón con dosis del T2 de 150 g determinando que su empleo es conveniente para su desarrollo vegetal y atribuirse a mejores rendimientos del cultivo.

En las características de largo, diámetro y peso total de la mazorca no se manifestó incidencia del uso de biocarbón en los tratamientos, presentando similitud al T0 que no se aplicó dosis. Para el peso de almendra se mostraron valores superiores en el T1 con dosis de 75 g, demostrando que en dosis de 75 g favorece al llenado de fruta.

En las propiedades químicas del suelo la aplicación de biocarbón del T1 resultó ser el más influyente con cambios positivos en algunos parámetros, presentando mejoría en las condiciones del pH y aumento en los porcentajes de materia orgánica con resultados de nivel medio.

La mayor incidencia de biocarbón se presentan en el T1, con el mejoramiento de algunos parámetros de desarrollo de la planta y propiedades químicas del suelo por lo tanto se recomienda utilizar dosis de 75 g de biocarbón.

V. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGROCALIDAD. (2012). Buenas Prácticas Agrícolas para Cacao. In *Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro* (Vol. 53). Retrieved from <http://www.agrocalidad.gob.ec/documentos/dcf/cacao/guia-de-buenas-practicas-agricolas-en-cacao.pdf>
- Alcívar Trejo, C., Calderón Cisneros, J. T., & Salazar López, K. (2015). La ruta del cacao, modelo de aporte al desarrollo socio-turístico y económico de las comunidades ecuatorianas. *Revista Observatorio Economía Latinoamericana*. Retrieved from <http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/ec/2015/cacao.html>
- Alonso-Gómez, L., Cruz-domínguez, A., Jiménez-Madrid, D., Ocampo-Duran, Á., & Parra-González, S. (2016). Biochar como enmienda en un oxisol y su efecto en el crecimiento de maíz. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 341–349. <https://doi.org/https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n2.2016.88>
- Alvarado Uriña, C. A., Morales Intriago, F. L., Carrillo Zenteno, M. D., Suarez Zambrano, A. Y., & Briones Caicedo, W. R. (2016). Comparación económica de un sistema de plantación de cacao semitecnificado en dos zonas productoras del Ecuador. *Revista Ciencia e Investigación*, 1(4), 13–16. Retrieved from https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/4188/2/iniapeetp_AR2016.pdf
- Amonette, J., Woolf, D., Street-Perrott, F. A., Lehmann, J., & Joseph, S. (2013). Mitigación del cambio climático con biomasa: potenciales técnicos y factores que afectan su implementación. *PALMAS*, 34, 85–95. Retrieved from <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/10704-Texto-10971-1-10-20131106.pdf>
- ANACAFÉ. (2004). *Cultivo de Cacao. Programa de Diversificación de Ingresos en la Empresa Cafetalera*. Retrieved from <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/05/Cultivo-de-Cacao.pdf>
- ANECACAO. (2019). Sector Exportador de Cacao. Retrieved February 28, 2020, from Asociación Nacional de Exportadores de Cacao-Ecuador website: <http://www.anecacao.com/index.php/es/estadisticas/estadisticas-actuales.html>
- Argüello-Navarro, A. Z., Madieto Soler, N., & Moreno-Rozo, L. Y. (2016). Cuantificación de bacterias diazótrofias aisladas de suelos cacaoteros (*Theobroma cacao* L.), por la técnica de Número Más Probable (NMP). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 18(2), 40–47. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v18n2.47678>
- Ariza, C. (2016). Determinación de textura por el método de Bouyoucos. Retrieved February 6, 2020, from https://www.academia.edu/24095776/DETERMINACIÓN_DE_TEXTURA_POR_EL_MÉTODO_DE_BOUYUCOS_MÉTODO_DEL_HIDRÓMETRO_ESTANDARIZADO_SEGÚN_NORMA_ASTM-152H

- Arteaga V., J. C., Arenas C., E., López R., D. A., Sánchez L., C. M., & Zapata B., Z. (2012). Obtención de biocombustibles producto de la pirolisis rápida de residuos de palma africana (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 10(2), 144–151. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612012000200017&lng=en&tlng=.
- Arvelo Sánchez, M. Á., González León, D., Maroto Arce, S., Delgado López, T., & Montoya Rodríguez, P. (2017). Manual Técnico del Cultivo de Cacao Buenas Prácticas para América Latina. In *Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA)*. Retrieved from [file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/BVE17089191e\(4\).pdf](file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/BVE17089191e(4).pdf)
- Barrezueta-Unda, S. (2019). Propiedades de algunos suelos cultivados con cacao en la provincia El Oro, Ecuador. *CienciaUAT*, 14(1), 155–166. Retrieved from <http://www.revistaciencia.uat.edu.mx/index.php/CienciaUAT/article/view/1210/611>
- Batista, L. (2009). *Guía Técnica el Cultivo de Cacao* (CEDAF, Ed.). Retrieved from <http://www.cedaf.org.do/publicaciones/guias/download/cacao.pdf>
- Borrero, C. A. (2009). *Fertilización del cultivo de cacao en sitio definitivo*. Retrieved from CENSALUD website: https://censalud.ues.edu.sv/CDOC-Deployment/documentos/FERTILIZACION_DEL_CULTIVO_DE_CACAO_EN_SITIO_DEFINITIVO.pdf
- Cerrón Gamarra, G. (2012). *Guía Técnica “Asistencia Técnica dirigida en Manejo de Cultivo de Cacao.”* Retrieved from <https://www.yumpu.com/es/document/read/58488640/010-f-cacao>
- Chávez Betancourt, R. X., Carbo Avellán, S. C., Lombeida García, E., & Cobos Mora, F. J. (2019). Estudio socio-económico del cultivo de cacao (*Theobroma cacao*. L) en la parroquia Febres Cordero, Cantón Babahoyo Los Ríos-Ecuador. *Observatorio de La Economía Latinoamericana*. Retrieved from <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/02/cultivo-cacao-ecuador.html>
- Concilco, A. E., Moreno Reséndez, A., García Carrillo, M., Quiroga Garza, H. M., & García, O. Á. (2018). Influencia del biocarbón aplicado al suelo sobre atributos de rendimiento y calidad de avena forrajera. *Revista Terra Latinoamericana*, 36(3), 221–228. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i3.375>
- Cordona Velásquez, L. M., Rodríguez-Sandoval, E., & Cadena Chamorro, E. M. (2016). Diagnóstico de las prácticas de beneficio del cacao en el departamento de Arauca*. *Revista Lasallista de Investigación*, 13(1), 94–104. <https://doi.org/10.22507/rli.v13n1a8>
- Escalante Rebolledo, A., Pérez López, G., Hidalgo Moreno, C., López Collado, J., Campos Alves, J., Valtierra Pacheco, E., & Etchevers Barra, J. D. (2016).

- Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Terra Latinoamericana*, 34(3), 367–382. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=573/57346617009>
- FAO. (2020). FAOSTAT. Retrieved February 8, 2020, from <http://www.fao.org/faostat/es/?#data/QC>
- Fernández Muerza, A. (2009). Biocarbón, ¿la solución para el cambio climático? Retrieved February 2, 2020, from <https://www.consumer.es/medio-ambiente/biocarbon-la-solucion-para-el-cambio-climatico.html>
- Graziani de Fariñas, L., Ortiz de Bertorelli, L., Angulo, J., & Parra, P. (2002). Características físicas del fruto de cacao tipos criollo, forastero y trinitario de la localidad de cumboto, venezuela. *Revista Agronomía Tropical*, 52(3), 343–362. Retrieved from http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2002000300006&lng=es&tlng=es.
- Gutiérrez R., M., Gómez S., R., & Rodríguez L., N. F. (2011). Comportamiento del crecimiento de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.), en vivero, sembradas en diferentes volúmenes de sustrato. *Corpoica. Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 33–41. Retrieved from <http://www.redalyc.org/pdf/4499/449945030004.pdf>
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945030004>
- Herdia Salgado, M. A., & Tarelho, L. A. C. (2018). Producción de biochar como alternativa para la valorización energética de la biomasa residual generada en el sector agroindustrial Ecuatoriano: un enfoque participativo. *Boletín Del Grupo Español Del Carbón*, (49), 6–11. Retrieved from http://www.gecarbon.org/boletines/articulos/BoletinGEC_049-art2.pdf
- INTA. (2011). Cuantificación de la materia orgánica del suelo. Método de WALKLEY & BLACK. Retrieved January 20, 2020, from <https://inta.gob.ar/documentos/cuantificacion-de-la-materia-organica-del-suelo.-metodo-de-walkley-black>
- Klug, M. (2012). Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa. *Revista de Química PUCP*, 26(1–2), 37–40. Retrieved from <http://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/5547/5543>
- Leiva Rojas, E. I. (2012). *ASPECTOS PARA LA NUTRICIÓN DEL CACAO Theobroma cacao* L. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/50450/1/ednaivonneleivarojas.2012.pdf>
- López Andrade, P., Ramírez Guillermo, M., & Mendoza López, A. (2011). Paquete Tecnológico Cacao (*Theobroma cacao* L.) Establecimiento y Mantenimiento. In *Programa Estratégico para el Desarrollo Rural Sustentable de la Región Sur-Sureste: Trópico Húmedo 2011*. Retrieved from <https://censalud.ues.edu.sv/CDOC->

Deployment/documentos/cacao_establecimiento_y_mantenimiento.pdf

- Marín Armijos, J., García Batista, R. M., & Barrezueta-Unda, S. (2018). Elaboracion de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6(3), 75–81. Retrieved from <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>
- Mata Anchundia, D., Rivero Herrada, M., & Segovia Montalvan, E. L. (2018). Sistemas agroforestales con cultivo de cacao fino de aroma: entorno socio-económico y productivo. *Revista Cubana de Ciencias Forestales: CFORES*, 6(1), 103–115. Retrieved from <http://cfores.upr.edu.cu/index.php/cfores/article/view/280/>
- Mathias Schlegel, M., Ibrahim, B., Kipping-Rössel, D., Ortiz-Laurel, H., & Fras, J. (2018). Biocarbon production using solid material from the aerobic-microbiological hydrolysis. *Agro Productividad*, 11(11), 27–33. Retrieved from <file:///C:/Users/Lenovo/Downloads/1279-Otro-2361-2-10-20190125.pdf>
- Medina, J. D. L. C., Vargas Ortiz, M. A., & Coronel, O. A. D. A. (2010). CACAO: Operaciones Poscosecha. In *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-au995s.pdf>
- MINAGRI. (2019). *Observatorio de COMMODITIES: Cacao* [Boletín de publicación trimestral. Enero]. Retrieved from http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/tematicas/economia/e71/commodities_cacao_ene19.pdf
- Morales J, J. de J., García J, A., & Méndez B, E. (2012). ¿Qué sabe usted acerca de... Cacao? *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 43(4), 79–81. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57928311010%0A>
- Ospina Montealegre, R., Ardila Fernandez, A. F., Martínez Bolaños, D. F., & Rengifo Canizales, E. (2013). Biomasa aérea y contenido de carbono del saladillo (*Caraipa llanorum*) en Puerto Carreño, Vichada, Colombia. *Colombia Forestal*, 6(2), 158–170. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939620003>
- Paredes Arce, M. (2003). Manual de cultivo del cacao. In *Ministerio de Agricultura- Programa para el desarrollo de la Amazonía, PROAMAZONIA*. Retrieved from http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/cacao/manual_cultivo_cacao_2003.pdf
- Pinzón Useche, J. O., & Rojas Ardila, J. (2012). Guía Técnica Para el Cultivo de Cacao. In *Federación Nacional de Cacaoteros, FEDECACAO*. Retrieved from <https://www.yumpu.com/es/document/read/58376076/guia-tecnica-para-el-cultivo-de-cacao>
- PROECUADOR. (2013). Análisis del sector cacao y elaborados. In *Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones*. Retrieved from <http://infocafes.com/portal/wp->

content/uploads/2016/06/PROEC_AS2013_CACAO.pdf

- PROEcuador. (2017). Perfil Sectorial de Cacao y Elaborados 2017. In *Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones*. Retrieved from <https://www.proecuador.gob.ec/cacao-y-elaborados/>
- Puentes-Páramo, Y. J., Menjivar-Flores, J. C., & Aranzazu-Hernández, F. (2016). Concentración de nutrientes en hojas, una herramienta para el diagnóstico nutricional en cacao. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 27(2), 329–336. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15517/am.v27i2.19728>
- Rangel-Fajardo, M. A., Zavaleta-Mancera, H. A., Córdova-Téllez, L., López-Andrade, A. P., Delgado-Alvarado, A., Vidales-Fernández, I., & Villegas-Monter, Á. (2012). ANATOMÍA E HISTOQUÍMICA DE LA SEMILLA DEL CACAO (*Theobroma cacao* L.) CRIOLLO MEXICANO ANATOMY AND HISTOCHEMISTRY OF THE MEXICAN CACAO (*Theobroma cacao* L.) SEED. *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex*, 35(3), 189–197. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000300002&lng=es&tlng=es.
- Rodríguez, L., Salazar, P., & Preston, T. (2010). *Effect of biochar and biodigester effluent on growth of maize in acid soils* (Tesis doctoral). Retrieved from <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/17042/rodriguez.pdf?sequence=1#page=84>
- Romero, C. A., Bonilla, J. A., Santos, E. G., & Peralta, E. L. (2010). Identificación Varietal de 41 Plantas Seleccionadas de Cacao (*Theobroma cacao* L.) Provenientes de Cuatro Cultivares Distintos de la Región Amazónica Ecuatoriana, Mediante el Uso de Marcadores Microsatélites. *Revista Tecnológica ESPOL – RTE*, 23(1), 121–128. Retrieved from <http://www.rte.espol.edu.ec/index.php/tecnologica/article/view/44/16>
- Romero Millán, L. M., Cruz Domínguez, M. A., & Sierra Vargas, F. E. (2016). Efecto de la temperatura en el potencial de aprovechamiento energético de los productos de la pirólisis del cuesco de palma. *Tecnura*, 20(48), 89–100. Retrieved from <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=257046835007>
- Salvador, N., Espinoza, E., & César Rojas, J. (2012). *Manual del cultivo de cacao blanco de Piura* (Julio Césa). Retrieved from [https://books.google.com.ec/books?id=UoYzAQAAMAAJ&pg=PA112&dq=Cerc onota+dimorpha&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjBpPiLkNbaAhVK2VMKHVbEDFIQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Cerconota+dimorpha&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=UoYzAQAAMAAJ&pg=PA112&dq=Cerc+onota+dimorpha&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjBpPiLkNbaAhVK2VMKHVbEDFIQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Cerconota+dimorpha&f=false)
- Sánchez-Mora, F. D., Medina-Jara, S. M., Díaz-Coronel, G. T., Ramos-Remache, R. A., Vera-Chang, J. F., Vásquez-Morán, V. F., ... Onofre-Nodari, R. (2015). Potencial sanitario y productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 265–274. Retrieved from http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-

73802015000300005&lng=es&tlng=es.

- Sánchez-Reinoso, A. D., Ávila-Pedraza, E. Á., & Restrepo-Díaz, H. (2019). ACTA BIOLÓGICA COLOMBIANA. *Use of Biochar in Agriculture*, 25(2). Retrieved from <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/79466>
- Tortosa, G. (2015). ¿Qué es el biochar? Retrieved January 31, 2020, from COMPOSTANDO CIENCIA LAB. website: <http://www.compostandociencia.com/2015/01/que-es-el-biochar/>
- USDA-NRCS. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos Décima segunda Edición*. Retrieved from https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Vera Chang, J., Vallejo Torres, C., Párraga Morán, D., Morales Rodríguez, W., Macías Véliz, J., & Ramos Remache, R. (2014). ATRIBUTOS FÍSICOS-QUÍMICOS Y SENSORIALES DE LAS ALMENDRAS DE QUINCE CLONES DE CACAO NACIONAL (*Theobroma cacao* L.) EN EL ECUADOR. *Revista Ciencia y Tecnología*, 7(2), 21–34. <https://doi.org/10.18779/cyt.v7i2.99>
- Wight, A. (2015). Gorman heritage farm biochar kiln and carbon education station. Retrieved February 6, 2020, from gormanfarm.org website: http://gormanfarm.org/wp-content/uploads/2017/03/20160212-AW_biochar_poster_FA.pdf
- Zabala A., V. (2019). Ecuador es el cuarto productor mundial de cacao y el número 1 en Latinoamérica. Retrieved February 7, 2020, from <https://www.ekosnegocios.com/articulo/ecuador-es-el-cuarto-productor-mundial-de-cacao-y-el-numero-1-en-latinoamerica>

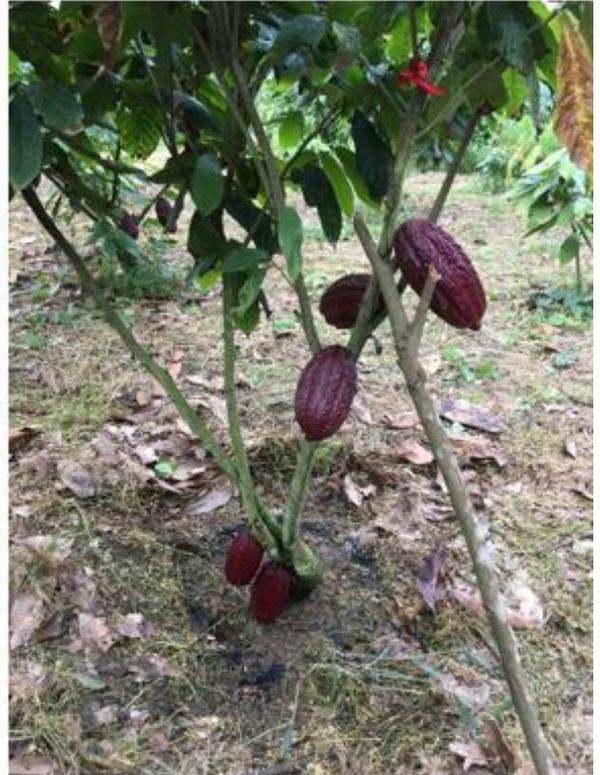
ANEXOS



Anexo 1. Zona de estudio



Anexo 2. Biocarbón triturado y tamizado



Anexo 3. Aplicación de biocarbón



Anexo 4. Toma de datos de altura y número de brotes



Anexo 5. Recolección de muestras



Anexo 6. Análisis de las propiedades químicas de las muestras de suelo



Anexo 7. Mazorcas recolectadas de los tratamientos



Anexo 8. Medición y peso de la mazorca de cacao

Rango de porcentajes	Niveles
0 – 1,9 %	Muy bajo
2,0 – 2,9%	Bajo
3,0 – 4,9 %	Medio
5,0 – 10,0 %	Alto
>10,0 %	Muy alto

Anexo 9. Niveles de materia orgánica del suelo